

GRÁCZI TEKLA ETELKA*,** – KREPSZ VALÉRIA*

*MTA Nyelvtudományi Intézet, **MTA-ELTE Lendület Lingvális Artikuláció Kutatócsoport
graczi.t.e@gmail.com, krepszvaleria@gmail.com

Grácz Tekla Etelka–Krepsz Valéria: Intervokális réshangok akusztikai szerkezete tinédzser- és felnőttkorban

Alkalmazott Nyelvtudomány, XVIII. évfolyam, 2018/1. szám
doi:<http://dx.doi.org/10.18460/ANY.2018.1.003>

Intervokális réshangok akusztikai szerkezete tinédzser- és felnőttkorban

The acoustic characteristic of speech sounds changes throughout the life span. The question arises around what age speech production is similar to adults' speech. The acoustic characteristics of fricatives have been described for children in English speakers (Nissen–Fox, 2005). Our question was whether there is a similarity in the spectral characteristics of fricatives in 16 year old and adult speech production. To answer the question the spontaneous speech of twelve 16 years olds and twelve young adults (20-30 years) was analyzed. The duration, static CoG, SD, skewness, kurtosis and dynamic CoG and voiceless part ratio was measured in their /z/, /s/ and /ʃ/ realizations in spontaneous speech. The results show that the three consonants show similar distinctiveness, however, the spectral features show larger differences between the teenagers' and the adults' speech, and also between the genders. These differences may arise from the differences in speech organ size and different voicing distinction strategies of the speaker groups.

1. Bevezetés

A spiránsok képzése során a toldalékcso egy bizonyos artikulációs szervpárja között létrekezik, és az ezen áramló levegő turbulens zörejt hoz létre (Stevens, 1960; Stevens, 1971; Stevens, et al., 1992; Jongman, et al. 1998).

A réshangok jól elkülöníthetők egymástól az akadály megjelenésének helye, és ebből következően az eltérő akusztikai lenyomatuk alapján. Több akusztikai paraméterrel is jellemezhető a mássalhangzók szerkezete. Ilyen lehetőség például az egyes spiránsok jellemzésére az intenzívebb frekvenciatartományok középvértékének megadása, azaz a zörejtartományok mérése (magyarra vö. pl. Magdics, 1966). A zöngétlen, alveoláris réshangnál a zörejtartományok 4000 és 10.000 Hz-es tartományban helyezkednek el, az éles, sziszegő hangzásért felelős intenzív zörejtartományok jellemzően a 6000 és 8000 Hz közötti tartományban jelennek meg. A zöngétlen, posztalveoláris spiránsok alacsonyabb frekvenciatartományban, 2200 és 5000 Hz között fordulnak elő, az észlelt susogó érzetét pedig a 3500 Hz körüli legintenzívebb zörejtartomány adja (Stevens, 2000). A CoG- (Centre of Gravity) érték a beszédhang spektrális eloszlásának súlypontját, más megfogalmazásban a frekvenciaértékek amplitúdóval súlyozott átlagát adja meg. Az azonos zöngésségű, de különböző képzési helyű spiránsokat jellemző zörejtartományok különböző frekvenciákon jelennek meg, azaz a teljes spektrális lenyomat eltérő CoG-értékekkel jellemezhető. Így a zörejtartományok alapján

tudunk megközelítőleg következtetni az artikulációra. Értelemszerűen ugyanez fordítva is igazolható, azaz az egyes réshangok CoG-értékeit elsősorban a szájüreg elülső részének alakja és méretbeli változása (az üreg nagysága, illetve a szűkület mértéke, elhelyezkedése és az ajkak pozíciója) határozza meg (Heinz–Stevens, 1961). Több kutatási eredmény egymástól függetlenül is alátámasztotta azt az állítást, amely szerint a spiránsok időtartama és spektrális szerkezetük értékei eltérnek a képzési helyek mentén (Jongman et al., 2000; Beke–Gyarmathy, 2010). Beke és Gyarmathy (2010) szignifikáns különbséget igazoltak a vizsgált zöngétlen alveoláris és posztalveoláris réshangok spektrumának súlypontja, eloszlása, csúcsossága és intenzitása szerint is annak ellenére, hogy jelentős individuális eltéréseket adatoltak. Igazolódott továbbá az is, hogy a spektrális szerkezetet befolyásolja a spiránst követő magánhangzó minősége.

A spektrális szerkezet további tényezői, hogy ehhez a súlyponthoz (CoG-hez) képest a teljes spektrális eloszlás hogyan viszonyul. Ilyen értékek a spektrális szóródás, a ferdeség és a csúcsosság. A spektrális szerkezet szóródása azt mutatja meg, hogy mennyire térnek el a spektrumösszetevő frekvenciák a súlyponttól az adott ejtésben, azaz mekkora frekvenciatartományt fog át az ejtés során képzett hang. A ferdeség megadja, hogy mennyiben tér el vagy hasonlít a súlypont alatti frekvenciatartomány formája az a felettihez. A csúcsossággal azt jellemezzük, hogy mennyiben hasonlít egy CoG-központú Gauss-görbéhez a spektrális szerkezet. Minél inkább centralizálódik egy frekvenciaérték köré az intenzitás, annál magasabb értéket kapunk.

Eltérők voltak az eredmények a különböző képzési helyű réshangok spektrális szerkezetre gyakorolt hatását illetően. Jongman több kutatásában (Jongman, 1998; Jongman et al., 2000) is különbséget igazolt a spektrális paraméterekben a szibilánsok és nem szibiláns réshangok között.

A képzési hely és a zöngésség hatással van ezen értékek alakulására, de emellett egyéb univerzális jellemzők megjelenéséhez is vezet (vö. Stevens, 1998; Maddieson, 1999). Ezek közé tartozik többek között az, hogy a zöngétlen beszédhangok a zöngés párjukhoz viszonyítva hosszabb időtartamban realizálódnak (Baum–Blumstein, 1987; Docherty, 1992; Jesus–Shadle, 2003; magyarra: Magdics, 1966; Kassai, 1982). Ugyanakkor az egyes nyelvek között eltérő mintázatok is megjelenhetnek a realizációkban: A zöngésség és a spirantikus zörej egyidejű fenntartásának aerodinamikai nehézsége például a portugálban és a magyarban ahhoz vezet, hogy minél hosszabb a zöngés réshang, annál nagyobb arányban zöngétlenedhet, míg az amerikai angolban más feloldási stratégiák jelennek meg (pl. Jesus–Shadle, 2003; Grácz, 2012).

Noha mind a hazai, mind a nemzetközi szakirodalomban egyre jelentősebb az életkorral mint befolyásoló tényezővel kapcsolatos kutatások aránya, ismereteink szerint csak kevés olyan vizsgálat született, amely a réshangok spektrális szerkezetét elemezné ilyen szempontból. Magyar nyelven történt vizsgálatban – ismereteink szerint – korábban csupán az idősek és a fiatal felnőtt

beszélők összehasonlításával foglalkoztak. Bóna és Beke (2013) 10 fiatal és 10 idős női beszélő spontán narratívájában megjelenő zöngétlen alveoláris és zöngétlen posztalveoláris spiránsok temporális és akusztikai szerkezetének összehasonlítása alapján a beszédhangok időtartamában nem, míg a spektrális szerkezetben szignifikáns különbséget mutatott ki a korcsoportok között. A statisztikai elemzés annak ellenére nem igazolt eltérést a réshangok időzítési sajátosságaiban a mássalhangzók képzési helyének függvényében a két életkori csoport között, hogy a beszélők artikulációs tempója szignifikánsan eltért egymástól.

Különböző életkorú gyermekek ejtésében is elemezték a mássalhangzók spektrális szerkezetét az angol nyelvben. Nittrouen (1995) a CoG, a spektrális eloszlás csúcossága és a ferdesége szempontja mentén vizsgálta a /t, k, s, ʃ/ realizációinak változását 3 és 7 éves kor között. Ezen eredmények szerint a fiatal gyermekek ejtésében az obstruensek még nem minden képzési jegy mentén különíthetők el, amit elsősorban a beszédképző szervek kisebb méretével, és az ebből adódó spektrális szerkezetbeli eltérésekkel magyaráztak. Nissen és Fox (2005) 3 és 6 év közötti gyermekek ejtésében vizsgálta a [f θ s ʃ] realizációinak akusztikai jellemzőit. Eredményeik azt mutatták, hogy a gyermekek beszédprodukciónak még ebben a fiatal életkorban kevésbé különböznek el egymástól a szibilánsok a képzési helyük alapján, mint a felnőttek ejtésében, amit a beszédhangok akusztikai szerkezetében körülbelül 5 éves korig megfigyelhető, a felnőttek ejtésétől jelentősen eltérő spektrális jellemzők is alátámasztanak.

Tudomásunk szerint magyar nyelven még nem készült gyermeknyelvi vizsgálat az obstruensek akusztikai szerkezetére vonatkozóan. A szakirodalomban evidenciaként van jelen, hogy az anyanyelv-elsajátítás folyamata során a fiziológiai fejlődés folyamatos és ugrásszerű változásokat idéz elő a gyermekek beszédprodukción és beszédpercepción működéseiben, ami összefügg a beszédképző szervek növekedési mintázatával (l. pl. Vorperian et al., 2009). Az artikuláció szempontjából meghatározó továbbá, hogy az életkor előrehaladtával nő a gyermekek artikulációs mozgásainak begyakorlottsága, fejlődik tovább a beszédtervezés működése. Emellett a spiránsok előfordulása relatíve gyakori, és produkciójuk eltér a felnőttekétől, gyakran logopédiai nehézséget okoz az anyanyelv-elsajátítás során a gyermekek számára (pl. selypesség, vö. Sebestyén Tar, 2006).

A jelen vizsgálatban egy korcsoport beszélői, a 16 éves gyermekek (tinédzserek) ejtésében elemezzük magyar spontán beszédben három réshang [s z ʃ] realizációit felnőtt adatokhoz viszonyítva. Ebben a korban (pubertáskor) is számos olyan fiziológiai módosulás következik be, amely hatást gyakorol a beszédre, a kommunikációs folyamatokra, és amely változások mind a szegmentális, mind a szuprasegmentális jegyekben kimutathatók. A hormonális változások hatására a gyermeki hang felnőtt hanggá alakul át a pubertás időszakában, általában 11 és 16 éves kor között (Hacki–Hirschberg–Mészáros,

2013; Hacki–Heitmüller, 1999). A mutációs fázisok során a gége megnő (a lányoknál vertikális, a fiúknál vertikális és horizontális irányba is), a pajzsporc lemezei által bezárt szög 120 fokról 90 fokra szűkül. A hangszalagok hosszabbá válnak (a fiúknál a növekedés mértéke eléri az 1 cm-t (átlagosan 16–29 mm hosszúak), a lányoknál mindössze 3-4 mm-rel nőnek (átlagosan 10–21 mm hosszúak). A hangszalagok szöveti struktúrája a pubertás során a felnőttekéhez hasonlóvá válik. A másodlagos nemi jelleg kialakulásával elkülönülnek egymástól a két nem jellemzői. Magyar nyelven végzett fonetikai vizsgálatok egymásnak ellentmondó eredményekre jutottak a tinédzserek és a felnőttek beszédhang-időtartam vizsgálatainak összevetése során. Magánhangzók időzítési sajátosságainak, valamint formánsszerkezetének elemzése alapján Auszmann (2016) azt igazolta, hogy a 13 éves beszélők realizációi már nagymértékben hasonlóvá váltak a felnőttek megnyilatkozásaiban mért értékekhez. Ezzel szemben más kutatás (Krepsz, 2015) szignifikáns különbséget adatolt a 16 évesek és a fiatalabb gyermekek, valamint a tinédzserek és a felnőtt beszélők spontán közléseiben megjelenő beszédhangok időtartamértékei között.

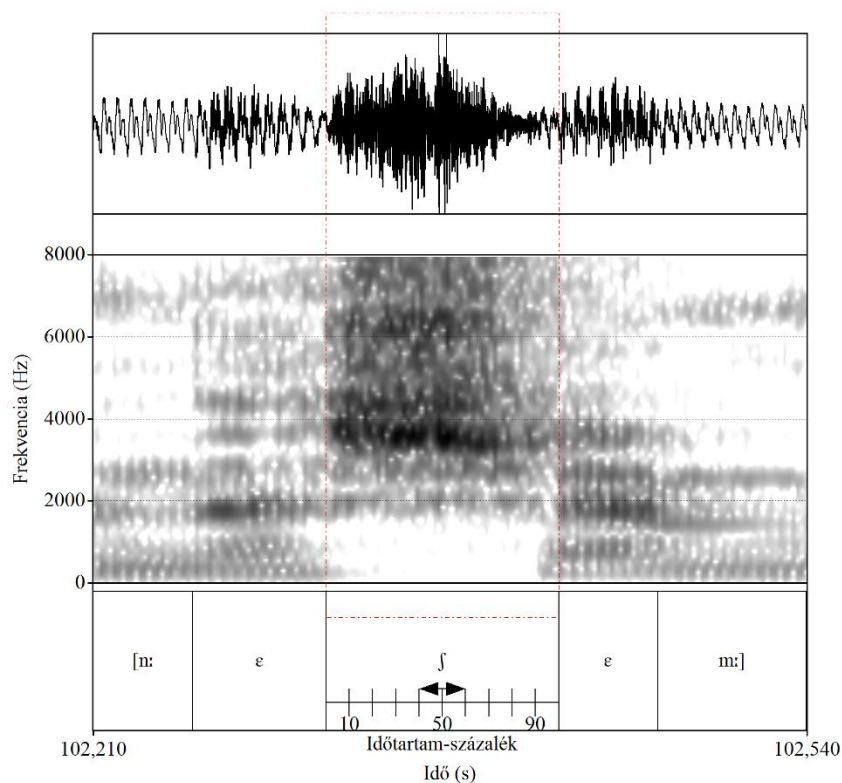
A két életkori csoport megnyilatkozásainak vizsgálata alapján a magánhangzók időzítési sajátosságaiban igazolt különbség felveti a kérdést, hogy van-e eltérés a 16 évesek és a felnőttek között a réshangok temporális sajátosságaiban és akusztikai szerkezetében. A jelen kutatásban két zöngétlen (/s/ és /ʃ/) és egy zöngés (/z/) spiráns realizációit vizsgáltuk 16 évesek és fiatal felnőtt beszélők spontán megnyilatkozásaiban. Választ kerestünk arra a kérdésre, hogy milyen különbséget mutatnak a spiránsok temporális és spektrális értékei a két életkori csoportban. Hipotéziseink szerint (i) a mássalhangzók akusztikai szerkezete a 16 éves beszélők ejtésében még eltérést mutat a felnőttnyelvi mintától, (ii) ugyanakkor a képzéshely szerinti különbségek mindkét korcsoport esetében kimutathatóak lesznek, azaz 16 éves korra már kimutathatóak.

2. Módszertan

A kutatásban 24 magyar anyanyelvű adatközlő spontán beszédét elemeztük. A beszélőket két életkori csoportból választottuk ki: 12 felnőtt (20 és 29 év közöttiek, 6 női és 6 férfi) beszélő hanganyagát a BEA adatbázisból (Gósy et al., 2012), és 12 tinédzser (16 évesek, 6 lány és 6 fiú) hanganyagát a TiniBEA adatbázisból (Gyarmathy–Neuberger, 2015). A felvételeket azonos felvételvezető azonos körülmények között rögzítette. A kiválasztott beszédhanganyagokban manuálisan címkéztük a /z, s, ʃ/ realizációit a hullámforma és a hangszínkép alapján folyamatos auditív visszacsatolás mellett a Praat szoftverben (Boersma–Weenink, 2016). Minden vizsgált réshang intervokális helyzetű volt. A VCV hangkapcsolatokban a környező magánhangzók minősége a spontán beszéd sajátosságaiból adódóan nem kiegyenlítették. A hangfájlokat 22,5 kHz-en újrámintavételeztük. A mássalhangzók határait a megelőző magánhangzó F₂-jének végétől a követő

magánhangzó F_2 -jének kezdetéig jelöltük (1. ábra). Ez alapján számítottuk ki a beszédhang időtartamát. Automatikusan mértük a mássalhangzóknak a zöngétlen rész arányát. A spektrális méréseket a spiránsok időtartamában 10%-onként végeztük, 10% és 90% között (összesen 9 pontban). Az időtartam 20%-ával egyező méretű, 10%-onként gördülő Hamming ablakot alkalmaztunk. Az 1. ábra alján látható példán bemutatva: A mássalhangzó közepén (50%) annak időtartamának 40%-a és 60%-a közötti szakasz átlagos CoG-értékét adtuk meg. Egy erre a célra létrehozott Praat-szkript segítségével kinyertük a spektrális eloszlás súlypontját (Centre of Gravity: CoG), szórását, ferdeségét és csúcsosságát, valamint a vizsgált mássalhangzó időtartamát és zöngétlen részük arányát. A kategoriális elemzés során zöngésnek tekintettük a megvalósulást, ha legfeljebb az időtartamának 30%-ában volt zöngétlen, zöngétlennek pedig legalább 70%-os érték esetében. A két érték között részben zöngésnek elemeztük a megvalósulást. A 30%-os határt az /s/ megvalósulásai alapján választottuk. Ezek 90%-a (az összes adatot együtt elemezve beszélői csoportbontás nélkül) legalább 70%-ban zöngétlen volt. A mérési hibákat (kiugró értékeket) kizárva minden /s/-realizáció legalább 60%-ban zöngétlen volt. (A viszonylag alacsony érték az időtartammal van összefüggésben: rövidebb ejtés esetén a néhány periódusnyi zöngé nagyobb arányt ad.)

A statisztikai elemzést az SPSS programban végeztük el: párosított t -próba, Pearson-féle korrelációs számítás és ismételt mérések ANOVA. Ez utóbbiban függő változóként a mássalhangzó-minőség, a korcsoport, a nem, ezek páronkénti és hármas interakciója szerepelt.



1. ábra. Minta a címkézés és a CoG-mérés menetére az [n]εΣem] hangsorban

3. Eredmények

A teljes mássalhangzóban mért jellemzők

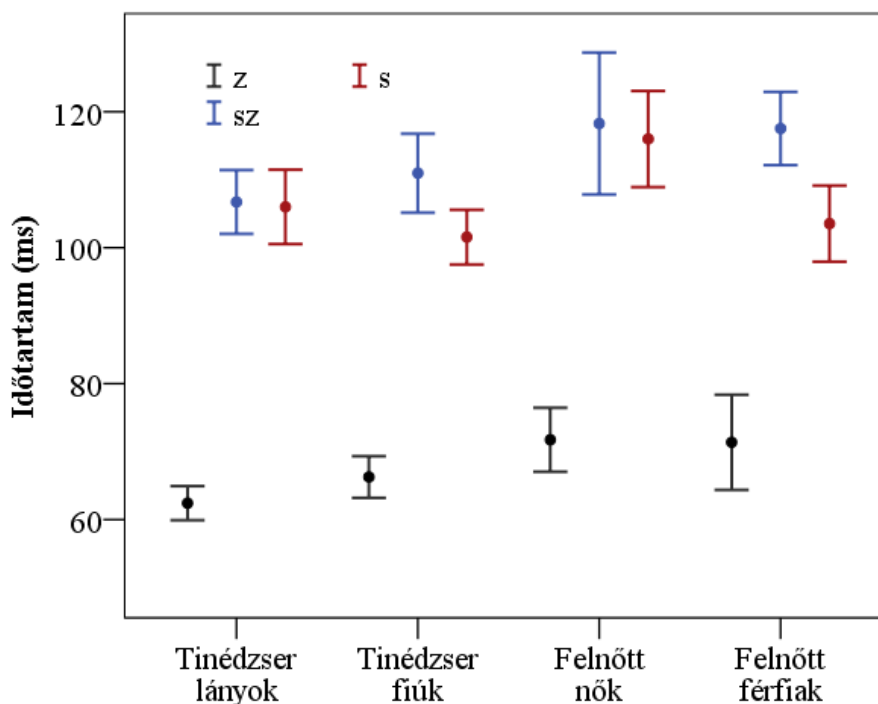
Az időtartam, a statikus CoG, a szóródás, a ferdeség, a csúcsosság és a zöngétlen rész aránya, tehát a mássalhangzók teljes időtartamában mért jegyek esetében az ismételt méréses ANOVA alapján a korcsoport és a nem meghatározó a beszélők közötti varianciában, míg a korcsoport*nem interakció nem. A réshangok közötti eltérés szignifikáns, és a mássalhangzó-minőség interakciója a korrall, illetve a nemmel ugyancsak meghatározónak bizonyult a vizsgált akusztikai jellemzőkre. A hármas interakció (mássalhangzó*korcsoport*nem) nem mutatott szignifikáns hatást. A statisztikai eredményeket az 1. táblázatban foglaltuk össze.

1. táblázat. Az ismételt méréses ANOVA eredményei

	<i>F</i>	<i>p</i>
C	592,319	< 0,001
C * korcsoport	3,620	0,031
C * nem	3,242	0,043
C * korcsoport * nem	0,805	0,645

A mássalhangzók időtartama egyetlen kiugró értéktől eltekintve 27 és 213 ms között szórt. A legrövidebb realizációt mind a négy beszélői csoportban (tinédzser fiúknál [átlag: 66 ms, SD: 17 ms] és lányoknál [átlag: 62 ms, SD: 13 ms]), illetve a felnőtt férfiaknál (átlag: 71 ms, SD: 28 ms) és nőknél (átlag: 72 ms, SD: 19 ms] a /z/ esetében mértük (2. ábra). A /ʃ/ esetében hosszabb időtartamokat adatoltunk [tinédzser fiúk (átlag: 102 ms, SD: 20 ms), lányok (átlag: 106 ms, SD: 24ms), felnőtt férfiak (átlag: 104 ms, SD: 22 ms), nők (átlag: 116 ms, SD: 27ms)], míg a leghosszabb előfordulásokat a /s/ esetében adatoltuk [tinédzser fiúk (átlag: 111 ms, SD: 24 ms), lányok (átlag: 107 ms, SD: 18 ms), felnőtt férfiak (átlag: 118 ms, SD: 21ms), nők (átlag: 118 ms, SD: 34 ms)].

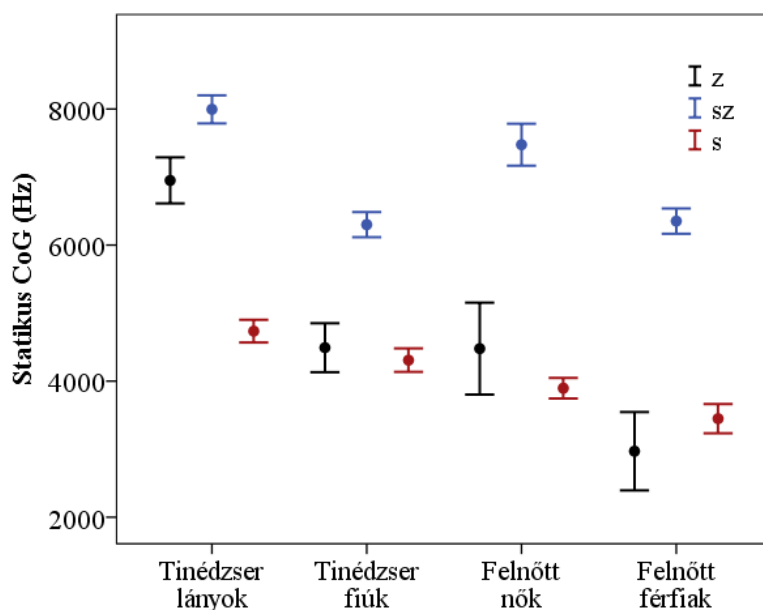
A /z/ időtartama minden csoportban a zöngétlen párjához képest kb. 40%-kal, a posztalveoláris réshanghoz képest pedig 30–40%-kal rövidebb időtartamban valósult meg. A két zöngétlen réshang 1–12% közötti időtartambeli eltérést mutatott: a két női csoport esetében gyakorlatilag teljesen azonos értéket adatoltunk (1,0% és 2,0% eltérés), míg a férficsoporthoz képest kismértékű eltérést kaptunk (8,5%, 12,0%). Lényegében tehát nem volt különbség közöttük.



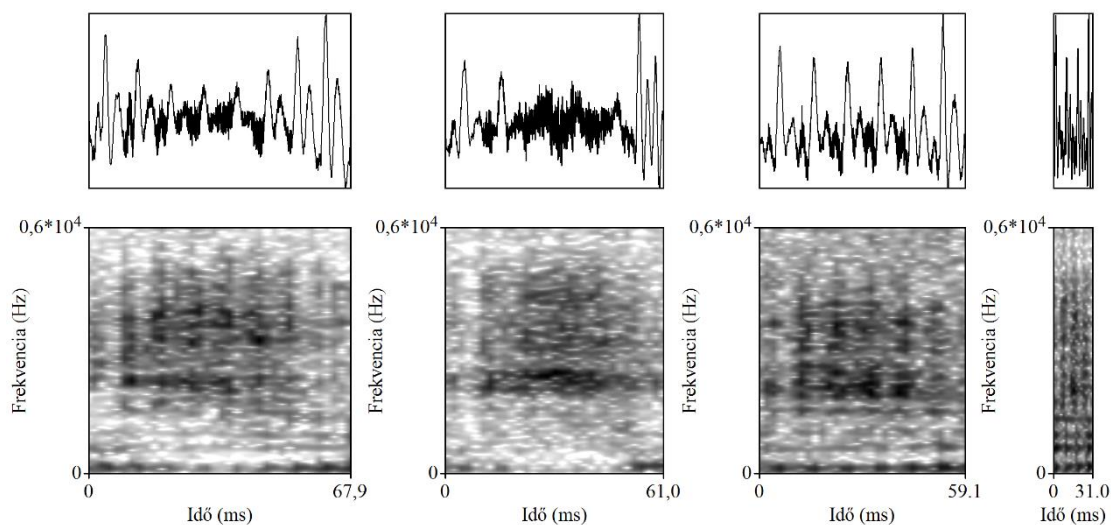
2. ábra. Az időtartamok értékei a három vizsgált mássalhangzó, valamint a beszélők életkorának és nemének függvényében (átlag és 95%-os CI)

A különböző típusú spiránsokat jellemző **spektrális eloszlás súlypontjai (CoG)** az elvártaknak megfelelően a képzéstől függően különböző frekvenciákon jelentek meg. Különbség mutatkozott a CoG-értékekben a beszélők életkorától és a nemétől függően is. A legalacsonyabb CoG-értéket a felnőtt férfiak esetében, míg a legmagasabbat a tinédzser lányok közléseiben mértük mindhárom mássalhangzó esetében (3. ábra). A legmagasabb értékek mind a négy csoportban a /s/ megvalósulásaiban mutatkoztak: az átlagok 6301 Hz (SD = 754 Hz) és 7995 Hz (SD = 735 Hz) között alakultak. Ennél a /ʃ/ realizációi CoG-ja jóval alacsonyabb értéket vett fel, 3449 Hz (SD = 859 Hz) és 4735 Hz (SD = 721 Hz) között alakultak a négy beszélői csoport értékei. A csoportokon belül 32–48%-nyi eltérés volt a két hangzó között. A zöngés alveoláris réshang megvalósulásai jóval nagyobb eltérést mutattak a két zöngétlen réshanghoz képest. Míg a tinédzser lányok esetében ez a zöngétlen párjához közeli értékeken realizálódott (6950 Hz \pm 1813 Hz), addig a többi beszélői csoportnál az /ʃ/-realizációkhoz hasonló CoG-értékeket mértünk erre a beszédhangra. Két csoportban a posztalveoláris réshangnál magasabb átlagos spektrális súlypont-értéket kaptunk (tinédzser fiúk: 4492 Hz \pm 1990 Hz, felnőtt nők: 4478 Hz \pm 2657 Hz), a felnőtt férfiaknál azonban alacsonyabbat (2970 Hz \pm 2286 Hz). A csoportok közötti különbségek mellett meg kell említeni a szórás magas értékét is. Míg a két zöngétlen réshang esetében 578 Hz és 1003 Hz között alakult a CoG-ben mért szóródás (a legtöbb esetben 760 Hz körüli értékkel), addig a zöngés mássalhangzó ejtésében a legkisebb érték 1813 Hz volt. Ennek oka, hogy a zöngé képzése leállhat a zöngés réshang ejtése során.

Ezen jelenségek háttérében feltehetően a fonológiai zöngesség fonetikai vetülete áll elsősorban. A zönge fenntartása szájüregi rés és zár esetében nehézkes az a mögött feltorlódó, így a szupraglottális nyomást megemelő levegőmennyiség miatt (pl. Halle–Clements, 1983). Az emelkedő nyomás nehezíti, lassítja, majd meg is akadályozhatja a hangszalagok felnyílását, illetve a hangszalagok között is megemelkedő nyomás azok összezáródását akadályozza meg később (l. Bickley–Stevens 1986). Ennek az aerodinamikai kényszernek az elkerülésére több lehetséges beszélői „stratégia” létezik. Egyrészt ejtheti a beszélő rövidebben a beszédhangot, nyithatja a nazális üreg felé a toldalékcsovet, a realizáció approximánsként jelenhet meg (approximalizálódhat) stb. (pl. Bárkányi–Kiss, 2009) Emiatt a beszélők között, de a beszélőn belül is változó, hogy részben (és hogy mennyire) zöngétleníti a mássalhangzót, esetleg approximáns jelenik meg, avagy rövid – valóban réssel képzett – réshangot ejt (magyarra l. pl. Bárkányi–Kiss–Mády, 2009; Grácz, 2012; 4. ábra). A 4. ábrán a /z/ realizációinak főbb típusait mutatjuk be. Az első minta egy teljes idejében zöngés réshangként realizálódott beszédhang, míg a második során a résképzés közben leáll a zöngképzés, majd a résből a magánhangzóba való nyílás során újraindul. A harmadik ejtésminta egy kisebb mértékben zörejes ejtést mutat, de a képzés még réses, a zöngképzés pedig folyamatos. A negyedik /z/-realizáció esetében egy nagyon rövid approximáns ejtést láthatunk. Ez a megjelenés is jellemző, ebben az esetben nem a zönge áll le, hanem a rést nem képi meg a beszélő, csak szűkületet hoz létre az adott (jelen esetben alveoláris) képzési helyen. A bemutatott beszédhang rövidsége nem csak a rés-zöngé párhuzamos képzésének nehézségének feloldására utal, hanem a beszélő nem lazább, közvetlenebb beszédmódjának is következménye.



3. ábra. A statikus CoG értékei a vizsgált mássalhangzók, valamint a beszélők életkorának és nemének függvényében (átlag és 95%-os CI)

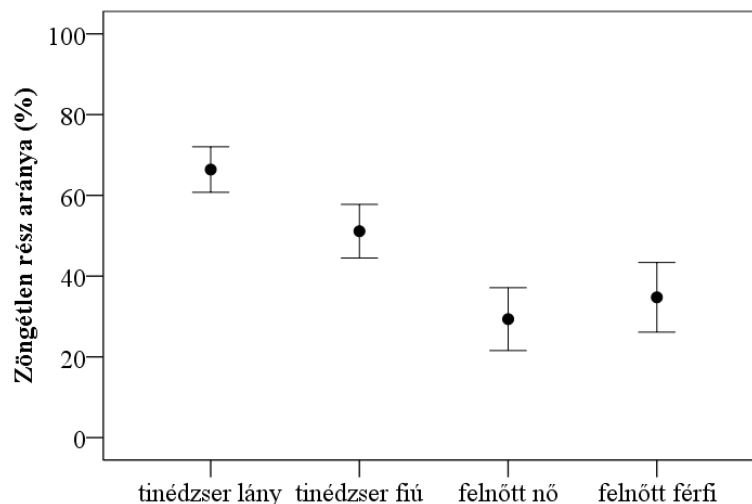


4. ábra. Ejtésminták a /z/ megvalósulásaira:

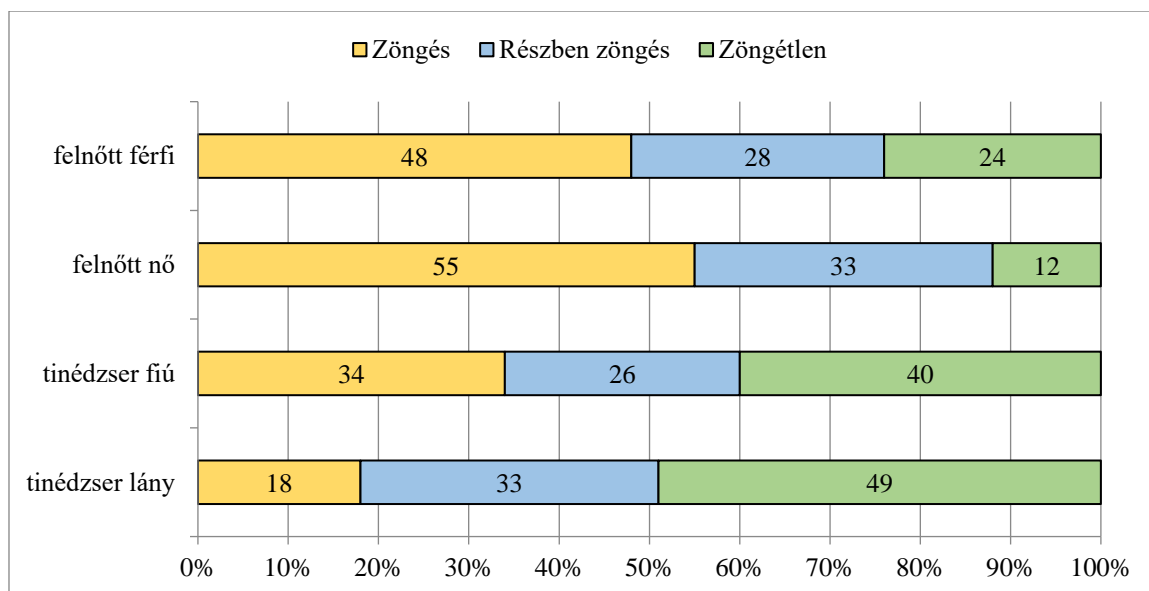
Zöngés [z], részben zöngés [z], kevésbé zörejés [z], approximáns ejtés [ɹ]

A fenti okok miatt a /z/ esetében részletesebben is elemeztük a zöngétlenedés mértékét (5. ábra). A felnőttek átlagosan kisebb mértékben zöngétlenítették a realizációkat, mint a tinédzserek. A fiatalabb korcsoportban a lányok, a felnőtteknél a férfiak esetében volt nagyobb arányú a zöngétlen rész aránya. Az egyéni különbségek jellemzőek voltak, de a csoportokra jellemző tendenciáktól csak két személy tért el nagyobb mértékben: a felnőtt férfiak között egy esetben jelentősen magasabb a zöngétlen rész aránya a többiekéhez képest, a tinédzser fiúk között pedig egy személy a csoport többi tagjához képest csak kisebb mértékben zöngétlenített. Az átlagos zöngétlenrész-arányon túl a zöngés-zöngétlen ejtés gyakorisága is jellemző a csoportokra. Azaz nem csak az, hogy milyen arányban zöngétlen egy-egy ejtés, hanem az is, hogy milyen gyakorisággal jelenik meg ilyen realizáció (6. ábra).

Arra a kérdésünkre, hogy mennyiben függ össze a zöngétlenítés mértéke a spektrális súlyponttal a /z/ megvalósulásaiban, Pearson-féle korrelációs számítás-sal kerestük a választ. A két érték között erős szignifikáns összefüggést találtunk ($r^2 = 0,809$, $p < 0,001$). A négy csoportot külön-külön elemezve az r^2 értéke a felnőtt nőknél 0,813, a felnőtt férfiaknál 0,897, a tinédzser lányoknál 0,731, a tinédzser fiúknál 0,842 volt, a p -é pedig minden esetben kisebb volt, mint 0,001.



5. ábra. A zöngés alveoláris réshang megvalósulásaiban mért zöngétlen rész aránya (%; átlag és 95% CI)

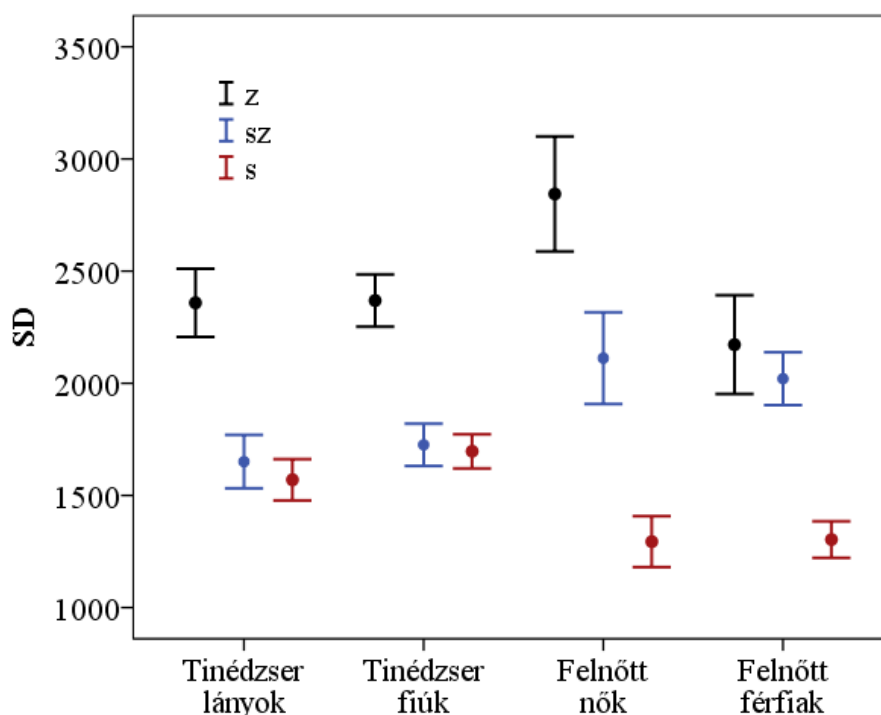


6. ábra. A zöngés, részben zöngés és a zöngétlen ejtés gyakorisága (%)

A spektrális szerkezet eloszlását a súlyponthoz képest a szóródás, a ferdeség és a csúcsosság alapján jellemezhetjük.

A **spektrális szerkezet szóródása**, azaz a spektrumösszetevők súlyponttól való eltérése nagy különbséget mutatott a vizsgált mássalhangzók mentén. A vizsgálati anyagunkban a legkisebb szórást az /ʃ/, a legnagyobbat a /z/ mutatta (/ʃ/-realizációk: 1498 Hz \pm 419 Hz; /s/-megvalósulások: 1861 Hz \pm 515 Hz és a /z/ ejtésének értékei: 2413 Hz \pm 835 Hz; 7. ábra). A felnőttek a zöngés hangzó esetében nagyobb átlagos eltérést mutattak a spektrális szórás értékében, mint a tinédzserek. A felnőtt nők inkább kevésbé zöngétlenítettek, így a zörejcócokon túl az alsóbb, a zöngé következtében megjelenő zörejjösszetevők is nagy intenzitással voltak jelen a spektrumban, így a szóródás magasabb, mint a férfiak esetében, hiszen az ejtés nagyobb frekvenciatartományt ölel fel. A

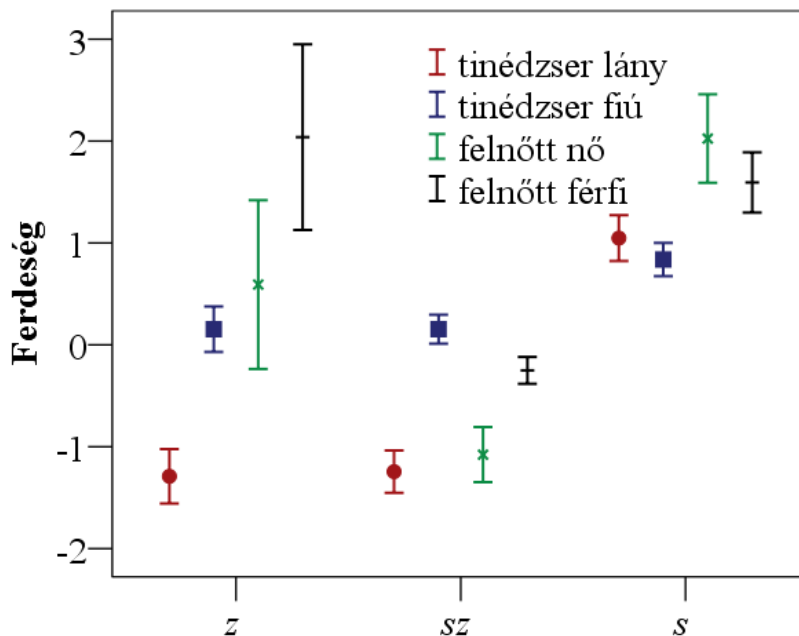
spektrális szórás átlagos eltérése ugyanakkor hasonlóan nagyobb, mindkét csoportban, mint a tinédzsereknél, mivel a fiatalabb korcsoportra a zöngétlenebb ejtés jellemzőbb, így kisebb variabilitást mutatnak, mint a felnőttek, akiknél a beszélőn belül és a beszélők között is változó a zöngétlenebb és a nagymértékben zöngés realizációk megjelenése. A zöngétlen réshangok közötti eltérés ellentétes a felnőtt és tinédzser korcsoport között. Míg az alveoláris esetében a felnőttek, addig a posztalveoláris ejtésében a tinédzserek szóródásértékei magasabbak. Ennek a feltehető magyarázatához további elemzések szükségesek.



7. ábra. A szóródás értékei a mássalhangzó minősége és a beszélők életkorának függvényében (átlag és 95%-os CI)

Mind a három mássalhangzó esetében eltérő mintázatot találtunk a mássalhangzók spektrális szerkezetének **ferdeségében**, azaz hogy a négy beszélői csoportban milyen értékek jelennek meg (8. ábra). A posztalveoláris réshang esetében az életkor, az alveoláris zöngétlen beszédhangok esetében pedig a nem mentén találtunk tipikus eltérést. A posztalveoláris esetében minden csoportban pozitív értékeket kaptunk, míg az alveoláris zöngétlen esetében többnyire negatív, kevés személynél 0-hoz közeli pozitívot. Azaz eltér a két hangzó abban, hogy a spektrális súlypont alatti és feletti terület összetevői mekkora tartományban jelennek meg milyen intenzitásviszonyokat mutatva. Illetve a /s/ megvalósulásai esetében ez a két frekvenciatartomány hasonló is lehet. A/z/ realizációi ebben az értékben is nagyobb variabilitást mutattak, mint a másik két konzonáns. Egyrészt a beszélői csoportok átlaga is eltérő, másrészt

a csoportokra jellemző átlagos eltérés is, azaz kevésbé egységes az ejtés az egyik, mint a másik esetben. Ismét a zöngésséggel kapcsolatos a magyarázat. Míg a fiatalok gyakrabban és nagyobb arányban zöngétlenítenek, így a /s/-realizációkhoz hasonlóan ejtve a zöngés párt is, addig a felnőttek esetében változóbb, hogy zöngétlenítenek-e, és milyen mértékben.

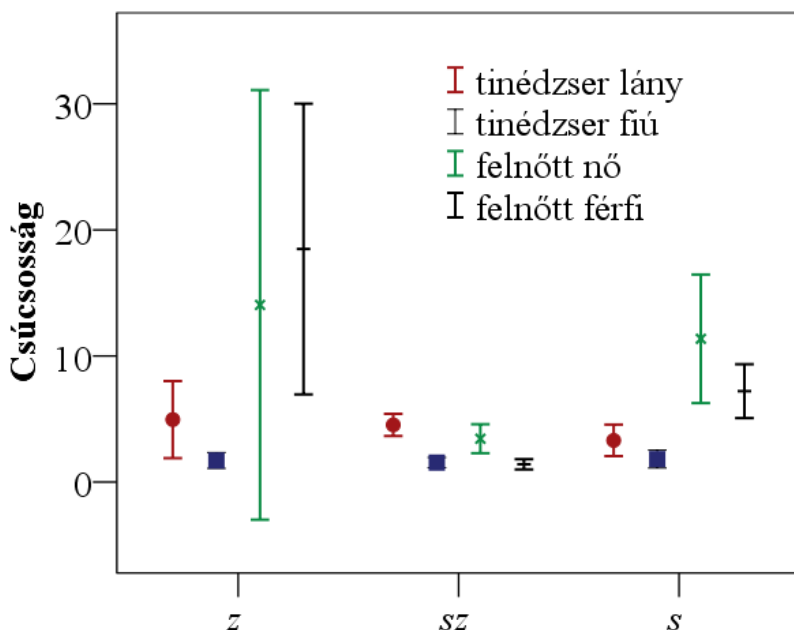


8. ábra. A ferdeség értékei a vizsgált mássalhangzó, valamint a beszélők életkorának és nemének függvényében (átlag és 95%-os CI)

A **csúcsosság** mentén elemezve a mássalhangzókat ismét eltérő mintázatot találunk az egyes beszélői csoportok között (9. ábra). Az alveoláris zöngétlen réshang esetében jellemzően a női beszélők (életkortól függetlenül) produkáltak centralizáltabb ejtést, mint a férfiak, míg a posztalveoláris esetében ebben az esetben is az életkor mentén volt kimutatható eltérés. A felnőttek ejtésében a /ʃ/-megvalósulások csúcsosabb intenzitáseloszlást mutattak. A tinédzserek esetében a két zöngétlen réshang között, illetve a zöngés és a zöngétlen mássalhangzók között nem volt jelentős eltérés, a normál eloszláshoz közel eső frekvencia-intenzitás viszonyokat mutattak a spektrális súlyponthoz képest. A felnőttek esetében a posztalveoláris magasabb értékei ennél jóval csúcsosabb, centralizáltabb ejtést jelentenek.

A zöngés mássalhangzó a zöngéfenntartási eltérések miatt ismét a korcsoportok között tért el jobban. A tinédzserek esetében – mint említettük – a zöngétlen réshangokhoz hasonló ejtés volt jellemzőbb, míg a felnőttek esetében a gyakrabban nagymértékben zöngés ejtés, és az így nagyobb frekvenciatartományban megvalósuló akusztikai lenyomat eredményezhetett negatív értékeket is (azaz „laposabb” ejtést mutatott), de a pozitív értékek is nagy arányban és nagy tartományban jellemzőek az idősebb csoportra a

zöngétlenebb ejtések jelenléte miatt. Összességében nagyobb variabilitás jellemzi tehát a felnőtt ejtést.



9. ábra. A csúcsosság értékei a vizsgált mássalhangzó, valamint a beszélők életkorának és nemének függvényében (átlag és 95%-os CI)

A statikus jegyek együttes elemzését beszélői csoportonként is elvégeztük, hogy információt kapjunk, az egyes beszélői csoportokban milyen elkülönülés jelentkezik a három mássalhangzó között. A 3. táblázatban foglaltuk össze a párosított *t*-próba eredményeit. A tinédzserek és a felnőttek ejtésére kapott adatok nem mutatnak jelentős eltérést. A zöngésségi pár esetében az időtartam, a zöngétlen rész aránya és a statikus CoG eltért, azaz a két mássalhangzó a /z/-realizációk gyakoribb és nagyarányú zöngétlenedése ellenére a spektrális jegyek mentén is elkülöníthetők akusztikai szerkezetük alapján.

A két zöngétlen réshang között minden csoportban eltér a CoG értéke és a ferdeség, a további jegyek változó eredményt adtak. Azt mondhatjuk tehát, hogy a fenti két érték mentén akusztikailag elkülöníthető a két konzonáns.

A /z/ és az /s/ közötti eltérés a /z/-megvalósulások sokszínűsége miatt nem mutat könnyen leírható képet. Az időtartam és a spektrális eloszlás szóródása alapján minden csoportban elkülönül, és a legtöbb csoportban a zöngétlen rész aránya is eltér.

3. táblázat. A statikus jegyek együttes elemzésének eredménye: párosított *t*-próba. A szabadságfok (df) minden esetben 5. A szürke cellák a szignifikáns értékeket jelölik. A hármas hasonlítás miatt $p \leq 0,0167$ esetén szignifikáns az eltérés.

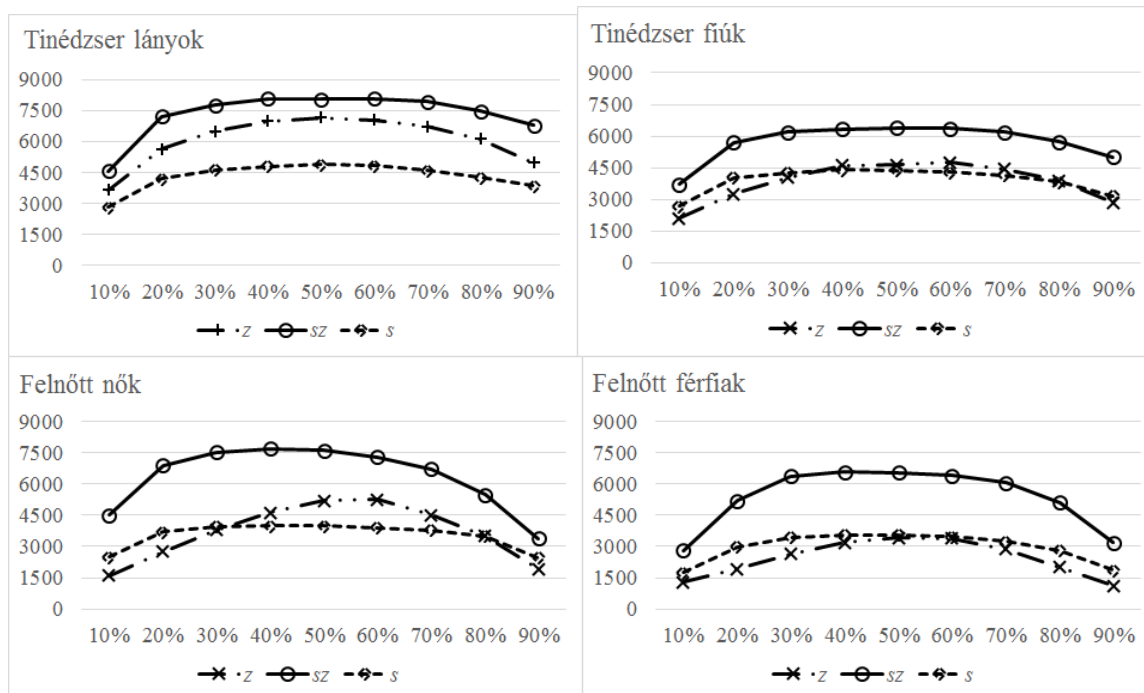
	Tinédzser lányok		Tinédzser fiúk		Felnőtt nők		Felnőtt férfiak	
	<i>t</i>	<i>p</i>	<i>t</i>	<i>p</i>	<i>t</i>	<i>p</i>	<i>t</i>	<i>p</i>
Időtartam	-29,439	< 0,001	-11,346	< 0,001	-9,550	< 0,001	-12,353	< 0,001

	Zöngétlen rész	-5,387	0,003	-5,040	0,004	-4,001	0,010	-5,067	0,004
	Statikus CoG	-7,114	0,001	-3,919	0,011	-3,953	0,011	-5,241	0,003
	CoG SD-je	4,660	0,006	20,673	0,000	2,618	0,047	1,776	0,136
	Ferdeség	-0,426	0,688	0,054	0,959	1,899	0,116	2,903	0,034
	Csúcsosság	-0,117	0,911	0,624	0,560	1,400	0,220	2,592	0,049
/z/ és /f/	Időtartam	-14,889	< 0,001	-15,648	< 0,001	-11,780	< 0,001	-5,654	0,002
	Zöngétlen rész	-4,765	0,005	-3,924	0,011	-2,353	0,065	-4,284	0,008
	Statikus CoG	7,501	0,001	0,525	0,622	0,831	0,444	-0,765	0,479
	CoG SD-je	4,117	0,009	5,052	0,004	6,878	0,001	6,054	0,002
	Ferdeség	-18,981	0,000	-2,107	0,089	-1,469	0,202	0,496	0,641
	Csúcsosság	0,498	0,639	-0,370	0,727	0,664	0,536	1,528	0,187
/s/ és /f/	Időtartam	-0,218	0,836	2,762	0,040	1,836	0,126	4,061	0,010
	Zöngétlen rész	4,469	0,007	3,209	0,024	3,059	0,028	2,551	0,051
	Statikus CoG	14,275	< 0,001	7,953	0,001	25,750	< 0,001	12,817	< 0,001
	CoG SD-je	0,268	0,799	-0,414	0,696	2,845	0,036	5,083	0,004
	Ferdeség	-9,466	< 0,001	-4,077	0,010	-7,331	0,001	-4,235	0,008
	Csúcsosság	0,907	0,406	-0,558	0,601	-1,938	0,110	-2,536	0,052

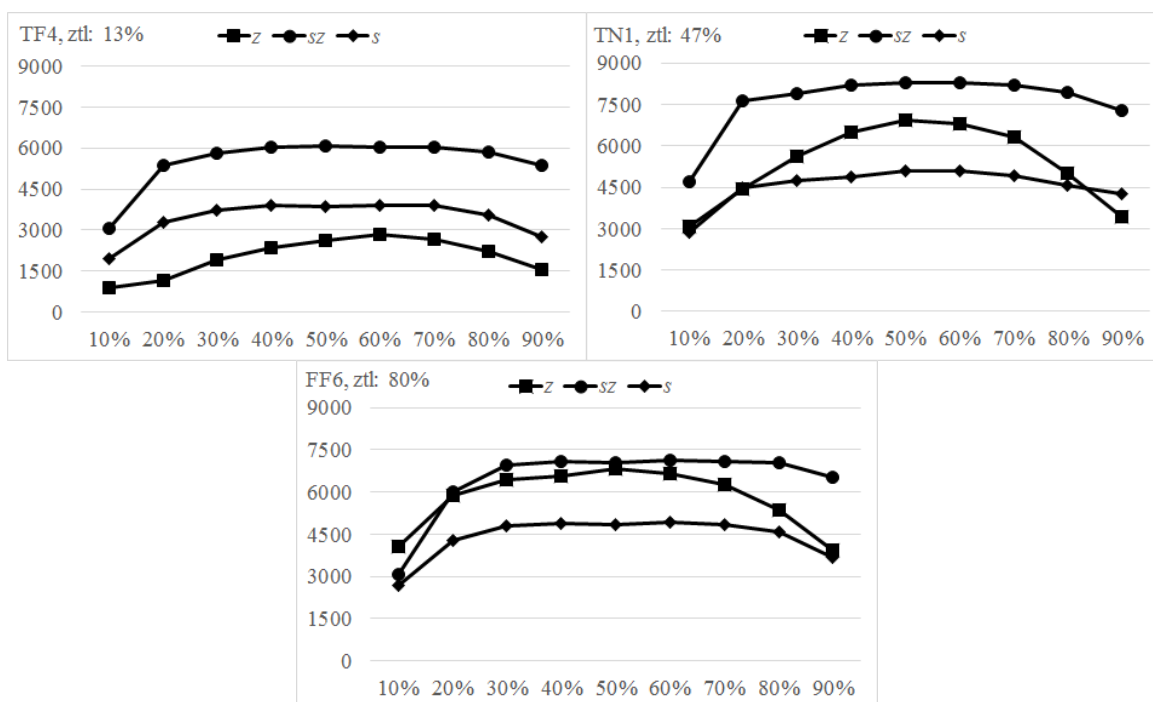
A dinamikus spektrális eloszlás elemzése

A **dinamikus CoG**-t, azaz a spektrális súlypont időbeli alakulását szemlélteti a 10. ábra a négy beszélői csoport átlagértékei alapján az egyes mássalhangzókra. A tinédzser lányok ejtésében az /s/ és a /z/ a képzés teljes időtartama alatt közeli értékeket vesz fel, míg a többi beszélői csoportban a zöngés alveoláris a /f/ értékeihez közelebbi CoG-menetet mutat. A mássalhangzók kezdetén és végén tapasztalt emelkedő majd ereszkedő CoG-menet természetesen a hangkörnyezet hatása, azaz a megelőző és a követő magánhangzó miatti hangátmenet velejárója. Ugyanakkor a zöngésségi párok kezdeti és végső szakaszán a CoG-érték alakulása eltért, ami a fenntartott és a leállított zöngéképzés alsó frekvenciatartományban megjelenő összetevők következménye főként. Ezt az összefüggést alátámasztja a 10. ábra, ahol az összes beszélő közül a legkisebb (TF4) és a legnagyobb arányban (FF6), illetve egy átlagos mértékben zöngétlenítő beszélő (TN1) átlagos dinamikus CoG-jét mutatjuk be. TF4 esetében a /z/ súlypontja az ejtés teljes időtartama alatt a két zöngétlen réshangnál alacsonyabb értéket vesz fel az alsóbb frekvenciatartományokon jelenlévő összetevők miatt, míg FF6 beszédében az időtartam 20–60%-os pontjai között a két alveoláris mássalhangzó azonos értékeket mutat. A kb. 70%-tól megjelenő eltérés a követő magánhangzóhoz előbb meginduló zöngé miatt jelenik meg. A kb. 45%-ban zöngétlenítő TN1 ejtésében a /z/-realizációk zöngéje kb. 20%-nyi idő után jelenik meg, és 80%-tól

indul újra. A két érték között a spektrális súlypont folyamatosan közeledik az /s/ CoG-vonulatának értékeihez.



10. ábra. A dinamikus CoG a mássalhangzó minősége és a beszélők életkorának függvényében

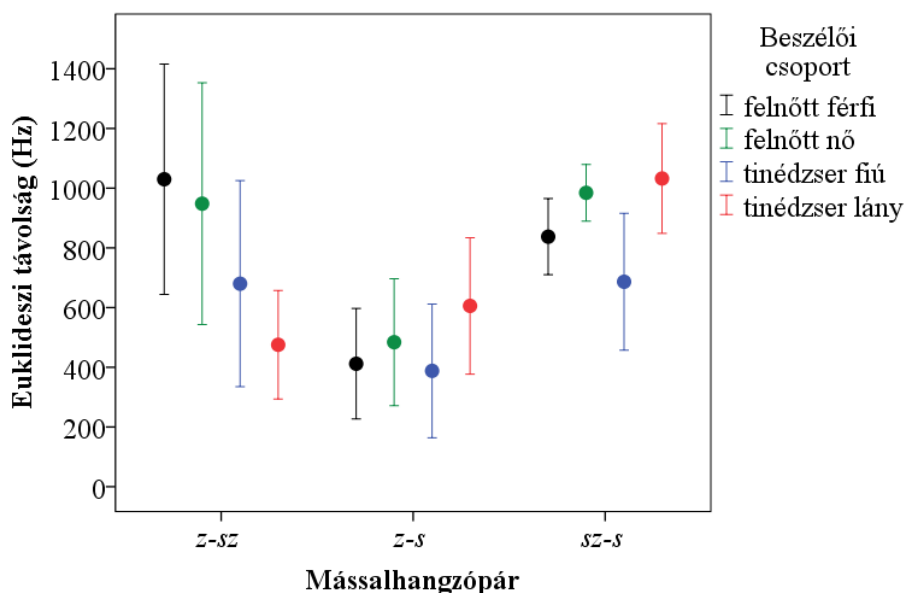


11. ábra. A dinamikus CoG három különböző /z/-realizációtípust alkalmazó beszélő ejtésében

Kiszámítottuk az egyes fonémák realizációjának spektrálisúlypont-menete közötti euklideszi távolságot. Azaz az egyes időpontokban kapott átlagos eredményeket összesítve is összevetettük a mássalhangzókat. A spektrális súlypont eloszlásbeli euklideszi távolságok mentén kapott átfedések esetén tehát

az időtartam alapján akusztikailag megkülönböztethető maradhat a mássalhangzó pár.

Az eredményeket a 12. ábra mutatja be. A zöngésségi pár távolsága a két női csoport esetében nagyobb szóródást mutat, és felnőttkorban magasabb értékek jelentek meg. Ez összefügg a korábban leírtakkal, azaz a /z/-megvalósulások változatos megjelenésével, és a 16 éves csoport gyakori és nagymértékű zöngétlenítésével. A /z/ és a /ʃ/ közötti eltérés a női beszélők esetében magasabb és nagyobb szóródást mutat, mint a férfiaknál, a korcsoporttól függetlenül. A tinédzser lányok jellemzően nagyobb eltéréssel ejtették a két hangzót, mint a felnőtt nők. Ezen két konzonáns esetében kisebb eltérést vártunk, mint a két alveoláris között, mert a posztalveoláris jellemzően alacsonyabb frekvenciatartományban realizálódik, mint az alveoláris zöngétlen réshang, ugyanakkor a zöngés alveoláris zöngés megvalósulása az alacsony frekvenciakomponensek miatt alacsonyabb CoG-értékeket mutatna. Ez a felnőttek esetében részben átfedéssel, de megvalósul. A fiatalabb korcsoportban az átfedés nagy, és a lányok esetében a magasabb az eltérés, mint a zöngésségi pár esetében, hiszen nagyrészt zöngétlenek a /z/-realizációk. Ugyancsak a fonológiai zöngésség miatt a két zöngétlen réshang között kisebb eltérést várnánk, mint a zöngésségi pár esetében. Ez a tinédzser fiúk kivételével nem teljesült. A nagy szóródás ebben a csoportban is megkérdőjelezi a hangzók realizációja közötti eltérés relevanciáját.



12. ábra. A mássalhangzók dinamikus CoG-értékei közötti euklideszi távolság (Hz)

4. Következtetések

A jelen tanulmány a /z, s, ʃ/ hangok temporális és spektrális jellemzőit vizsgálta tinédzserek és felnőtt beszélők spontán beszédében. A kutatás fő kérdése az volt, hogy kimutatható-e különbség a két életkori csoport között, valamint a beszédhangok képzési helye szerint a vizsgált paraméterekben.

A réshangok időtartama jelentősen különbözött egymástól a mássalhangzók képzéshelye és zöngéssége szerint. A zöngés spiráns átlagosan 40 ms-mal rövidebb időtartamban valósult meg, mint a zöngétlen réshangok, míg az /ʃ/ és /s/ között jelentős átfedést is adatoltunk. A beszélők életkorának a hangidőtartamokra gyakorolt hatását a jelen kutatás eredményei alátámasztják. A magyar szakirodalmi adatok azonban gyakran ellentmondóak a tekintetben, hogy a tinédzser beszélők hangidőtartam-értékei elkülönülnek-e a felnőtt beszélők realizációitól (vö. Krepsz, 2015; Auszmann, 2016). A jelen vizsgálat szignifikáns különbséget igazolt mindhárom réshang képzési helye és zöngéssége mentén a korcsoportok között. Megjegyzendő ugyanakkor, hogy a szakirodalmi kutatások magánhangzók időtartamát elemezték, valamint hogy mindkét vizsgálat esetében fiatalabb gyermekek értékeit is figyelembe vették az összehasonlítás során. Nem igazolódott különbség azonban a nemek tekintetében sem tinédzser, sem felnőttkorban, szemben a korábbi, réshangok időtartamát felnőttek ejtésében vizsgáló kutatás (Beke–Gyarmathy, 2010) eredményeivel, ahol a nők szignifikánsan hosszabban ejtették az egyes mássalhangzókat.

A vizsgált réshangok spektrális szerkezetének elemzése alátámasztotta az egyes beszédhangok zöngésség és a képzési hely szerinti elkülönítését a vizsgált paraméterek alapján. A szakirodalmi adatokhoz (Beke–Gyarmathy, 2010) hasonlóan az alveoláris zöngétlen réshang átlagos CoG-értékei magasabban, a posztalveoláris zöngétlen réshangé alacsonyabban jelentek meg, míg a /z/ realizációinak értékei jelentős átfedést mutattak mindkét hanggal az átlagértékek alapján, illetve nagyobb variabilitást mutattak azoknál. Ennek hátterében a képzésük során fenntartandó rés és zöngé párhuzamos képzésének nehézsége áll. A zöngé esetleges leállása, a rövidebb, de tipikus zöngés réshangként való realizáció és az approximált (vagy ahhoz közelítő ejtés) változatossága a spektrális szerkezetben is evidensen megmutatkozott. A spektrális eloszlás súlypontjának elhelyezkedését meghatározta továbbá a beszélők életkora és neme is. Míg a felnőtt férfiak esetében mutatkoztak a legalacsonyabb, és a tinédzserkorú lányoknál a legmagasabb értékek, a tinédzser fiúk és a felnőtt nők átlagos CoG-értékei közel azonosak voltak. Mindez valószínűsíthetően a toldalékcso életkoronként és nemenként eltérő méreteivel magyarázható.

A szóródás legnagyobb arányban a /z/ hang esetében volt adatolható, ami feltehetően részben ismét összefügg azzal, hogy a zöngés mássalhangzó realizációja változatos mértékben zöngétlenedhet.

A réshangok spektrális ferdeségének és csúcsosságának variabilitása a korábbiakhoz hasonlóan elsősorban az üregek eltérő méretével és a mássalhangzók zöngésség szerinti elkülönülésével támasztható alá. Emellett azonban fontos figyelembe venni a mássalhangzók közötti mintázatvariabilitás szempontját is, amit részben a beszédhangok relatíve gyakori megjelenése, valamint a vokális környezet változatossága is alátámaszt.

Az eredmények alapján további vizsgálati kérdések is felmerülnek. Ilyen például, hogy hogyan változik a spiránsok spektrális szerkezete a fiatalabb és idősebb beszélők ejtésében, valamint hogy mennyiben függenek a vizsgált jegyek az egyéni ejtési sajátosságoktól.

A mássalhangzók vizsgálata spontán beszédben történt, ilyen módon a hangkörnyezet kiegyenlítetlen volt. A továbbiakban tervezzük a kutatás kiterjesztését laboratóriumi beszéd elemzésére, amelyben a magánhangzók minősége, valamint a prozódiai szerkezet kontrollálása mentén is összevethetővé válnának az egyes csoportok értékeit, illetve tervezzük a vizsgálat bővítését új életkori csoportok bővítésével.

A kérdés azonban felmerül, hogy az emberi beszédészlelés pontosan hogyan dolgozza fel az akusztikumot. A másik felmerülő kérdés, hogy a zöngétlenebb /z/-ejtések során a dinamikus CoG menete, avagy egy átlagolt CoG-észlelet mentén történhet a percepcióban az elkülönítés a mássalhangzók között hasonló időtartam esetében. Figyelembe kell venni természetesen, hogy a zöngés mássalhangzó időtartama mindkét zöngétlennél jóval rövidebb, ami további másodlagos felismerési kulcsokkal együttesen segíti az azonosítást.

Irodalom

- Ausmann A.** (2016) *Magyar gyermekek magánhangzóinak akusztikai-fonetikai jellemzői*. Doktori disszertáció. Budapest: ELTE BTK.
- Bárkányi Zs. & Kiss Z.** (2009) *Word-final fricative contrasts in Hungarian*. A phonetic approach. Előadás a BuPhoC 2009 nov. 5-i ülésén. Letölthető: <http://budling.nytud.hu/~cash/papers/buphoc09-slide.pdf>
- Bárkányi Zs., Kiss Z. & Mády K.** (2009) *Az /s/-/z/ oppozíció fenntartása megnyilatkozás végén*. Előadás a Beszédkutatás 2009 konferencián. Budapest, 2009. okt. 16–17. Letölthető: <http://budling.nytud.hu/~cash/papers/beszkut2009-slide.pdf>
- Baum, S. R. & Blumstein, S. E.** (1987) Preliminary observations on the use of duration as a cue to syllable-initial fricative consonant voicing in English. *Journal of the Acoustical Society of America* 82. pp. 1073–1077.
- Beke A. & Gyarmathy, D.** (2010) Zöngétlen résmássalhangzók akusztikai szerkezete. *Beszédkutatás 2010*. pp. 57–75.
- Bickley, C. A. & Stevens, K. N.** (1986) Effects of a vocal tract constriction on the glottal source: experimental and modeling studies. *Journal of Phonetics* 14. pp. 373–382.
- Bóna, J. & Beke, A.** (2013) *A zöngétlen réshangok akusztikai szerkezete fiatal és idős korban*. Elhangzott: Az interkulturális kommunikáció elmélete és gyakorlata. Tudományos konferencia a Kodolányi János Főiskola és az ELTE BTK Alkalmazott Nyelvészeti Tanszéke szervezésében. Budapest, 2011. október 24–25.
- Boersma P. & Weenink D.** (2016) Praat: doing phonetics by computer. <http://www.fon.hum.uva.nl/praat/> (A letöltés ideje: 2016. 02. 13.)
- Docherty, G. J.** (1992) *The Timing of Voicing in British English Obstruents*. Berlin: Foris Publications.
- Fónagy I. & Szende T.** (1969) Zárhangok, réshangok, affrikáták hangszínképe. *Nyelvtudományi Közlemények* 71. pp. 281–343.
- Gósy M., Gyarmathy D., Horváth V., Grácz T. E., Beke A., Neuberger T. & Nikléczy P.** (2012) BEA: Beszélt nyelvi adatbázis. In: Gósy M. (szerk.) *Beszéd, adatbázis, kutatások*. Budapest: Akadémiai Kiadó. 9–24.
- Grácz T. E.** (2012) *Zörejhangok akusztikai fonetikai vizsgálata a zöngességi oppozíció függvényében*. Doktori disszertáció. Budapest: ELTE BTK.

- Gyarmathy D. & Neuburger T.** (2015) Egy hiánypótló adatbázis: a Tini BEA. *Beszéd kutatás 2015*. pp. 209–222.
- Hacki, T. & Heitmüller, S.** (1999) Development of the child's voice: premutation, mutation. *International Journal of Pediatric Otorhinolaryngology* 49. pp. 141–144.
- Halle, M. & Clements, G. N.** (1983) *Problem Book in Phonology*. Cambridge: MIT Press.
- Heinz, J. M. & Stevens, K. N.** (1961) On the properties of fricative consonants. *Journal of the Acoustical Society of America* 33. pp. 589–596.
- Hacki T., Hirschberg J. & Mészáros K.** (2013) A hangképzés gyermekkori fejlődése, premutáció, mutáció. In: Hirschberg J., Hacki T. & Mészáros K. (szerk.) *Foniátria és társtudományok I*. Budapest: Eötvös Kiadó. pp. 213–216.
- Jesus, L. M. T. & Shadle, C. H.** (2003) Temporal and devoicing analysis of European Portuguese fricatives. In: Solé, M.-J.; Recasens, D. & Romero, J. (eds.): 5th International Congress of Phonetic Sciences. pp. 779–782.
- Jongman, R. G. H. & Wayland, R. – Wong, S.** (1998) Acoustic Characteristics of English Fricatives. *Journal of the Acoustical Society of America* 108. pp. 1252–1263.
- Jongman, A.; Wayland, R. & Wong, S.** (2000) Acoustic characteristics of English fricatives. *Journal of the Acoustical Society of America* 108. pp. 1252–1263.
- Kassai I.** (1982) A magyar beszédhangok időtartamviszonyai. In: Bolla Kálmán (szerk.) *Fejezetek a magyar leíró hangtanból*. Budapest: Akadémiai Kiadó.
- Krepsz V.** (2015) Magánhangzó-időtartamok alakulása a hangsor hossza és az életkor függvényében. In: Váradi T. (szerk.) *Doktoranduszok tanulmányai az alkalmazott nyelvészet köréből*. <http://www.nytud.hu/alknyelvdok15/proceedings/anyd9.pdf> (letöltés: 2017. 11. 01.)
- Maddieson, I.** (1999) Phonetical universals. In: Hardcastle, William J. & Laver, John (eds.) *The handbook of phonetic sciences*. Oxford: Blackwell Publishers. pp. 619–639.
- Magdics K.** (1966) A magyar beszédhangok időtartama. *Nyelvtudományi Közlemények* 68. 125–139.
- Nissen, S. L. & Fox, R. A.** (2005) Acoustic and spectral characteristics of young children's fricative productions: A developmental perspective. *Journal of the Acoustical Society of America* 118. pp. 257–258.
- Nittrouer, S.** (1995) Children learn separate aspects of speech production at different rates: Evidence from spectral moments. *Journal of the Acoustical Society of America* 97. pp. 520–530.
- Sebestyén Tar É.** (2006) *A 3-6 éves kori fonológiai fejlődéskronológiai mintázata a magyarban*. Budapest: Open Art.
- Stevens, K. N.** (1971) Airflow and turbulence noise for fricative and stop consonants: Static considerations. *Journal of the Acoustical Society of America* 50. pp. 1182–1192.
- Stevens, K. N.** (1998) *Acoustic Phonetics*. Cambridge, Massachusetts–London: The MIT Press.
- Stevens, K. N.** (2000) Diverse acoustic cues at consonantal landmarks. *Phonetica* 57. pp. 139–151.
- Stevens, K. N.; Blumstein, S. E.; Glicksman, L.; Burton, M. & Kurowski, K.** (1992) Acoustic and perceptual characteristics of voicing in fricatives and fricative clusters. *Journal of the Acoustical Society of America* 91. pp. 2979–3000.
- Strevens, P.** (1960) Spectra of fricative noise in human speech. *Language and Speech* 3. pp. 32–49.
- Vorperian, H. K.; Wang, S.; Chung, M.K.; Schimek, E.M.; Durtschi, R.B. & Kent, R. D. et al.** (2009) Anatomic development of the oral and pharyngeal portions of the vocal tract: An imaging study. *Journal of the Acoustical Society of America*. 125. pp. 1666–1678.